

Contribución de las energías renovables a la disminución de los gases efecto invernadero: una revisión de literatura

Contribution of renewable energies to the reduction of greenhouse gases: a literature review

Jessica Lorena Cifuentes López ¹, Lyda Yiced Machuca Rojas ²

Tipo de Artículo: revisión de literatura.

Recibido: 09/11/2024. Aprobado: 18/02/2025. Publicado: 00/00/0000

Resumen: La demanda energética en el mundo se ha convertido en una necesidad imperativa de la sociedad, debido a que los avances tecnológicos requieren disponibilidad continua de energía. Sin embargo, la energía convencional, al provenir de recursos naturales no renovables conlleva a la generación de impactos ambientales altamente significativos, los cuales en un futuro no muy lejano ocasionarán escases e incremento de los precios. Además, contribuirá a través de su proceso productivo a la generación de gases efecto invernadero, ya que estos permiten que la temperatura de superficie de la tierra se incremente. Por ello, se hace necesario el uso de energías renovables, que permitan disminuir la concentración de estos gases en el planeta. Ahora bien, se han desarrollado diferentes estudios enfocados al uso e implementación de energías renovables como alternativa a la disminución de estos gases. En consecuencia, se hace necesario realizar una revisión literaria de estudios realizados a nivel mundial, nacional y regional frente a la implementación de las energías renovables y su contribución a la disminución de los gases efecto invernadero, obteniendo resultados positivos a nivel de eficiencia energética y sector de servicios, en donde las energías renovables actuaron como fuerzas sustitutivas reduciendo las emisiones de con una tasa marginal de sustitución decreciente.

Palabras clave: Energía convencional; energías alternativas; gases de efecto invernadero; efecto invernadero.

Abstract. Energy demand worldwide has become an imperative necessity for society, as technological advances require a continuous availability of energy. However, conventional energy, derived from non-renewable natural resources, leads to highly significant environmental impacts, which, in the not-too-distant future, will cause shortages and price increases. Additionally, its production process contributes to the generation of greenhouse gases, which in turn increase the Earth's surface temperature. For this reason, the use of renewable energy is necessary to reduce the concentration of these gases on the planet. Various studies have been conducted focusing on the use and implementation of renewable energy as an alternative to reducing these gases. Consequently, a literature review of studies conducted at the global, national, and regional levels is necessary regarding the implementation of renewable energy and its contribution to reducing greenhouse gases. The results show positive outcomes in terms of energy efficiency and the service sector, where renewable energy has acted as a substitutive force, reducing emissions with a decreasing marginal rate of substitution.

Keywords: Conventional energy; alternative energies; greenhouse gases; greenhouse effect.

¹ Autor correspondiente: Jessica Lorena Cifuentes López. Mayor título: Magister en Sistemas Integrados de Gestión. Filiación institucional: Universidad Antonio Nariño. País: Colombia, Ciudad: Duitama. Correo electrónico: jcifuentes58@uan.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3496-8349>

² Autor correspondiente: Lyda Yiced Machuca Rojas. Mayor título: Magister en Manejo y Sostenibilidad Ambiental. Filiación institucional: Universidad Antonio Nariño. País: Colombia, Ciudad: Duitama. Correo electrónico: lmachuca20@uan.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6187-2839>

^[1] Autor correspondiente: Lyda Yiced Machuca Rojas. Mayor título: Magister en Manejo y Sostenibilidad Ambiental. Filiación institucional: Universidad Antonio Nariño. País: Colombia, Ciudad: Duitama. Correo electrónico: lmachuca20@uan.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6187-2839>

PREPRINT

I. Introducción

El cambio climático, la contaminación y la inseguridad energética son problemas cruciales en la actualidad, lo que exige transformaciones significativas en la gestión de los recursos naturales. Es fundamental comprometerse con una transición hacia sistemas energéticos que incorporen en gran medida energías renovables y que logren una huella de carbono neutral. Esto se puede lograr mediante la aplicación del concepto de desarrollo sostenible y el avance en tecnologías que aprovechen fuentes de energía renovable. De esta manera, se facilitaría el restablecimiento de las condiciones necesarias para equilibrar las actividades humanas con la capacidad regenerativa de la biosfera. En resumen, se trataría de una gestión eficaz de los recursos naturales que asegure el bienestar de las futuras generaciones y del ecosistema global [1].

La energía es considerada como una parte esencial del desarrollo, ya que permite las inversiones, la invención y la creación de nuevas industrias, las cuales son fundamentales para la generación de trabajo, el crecimiento inclusivo y la prosperidad compartida para economías enteras. El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7, establece el acceso universal a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. Este objetivo es fundamental para lograr otros ODS y es el centro de los esfuerzos para hacer frente al cambio climático [2].

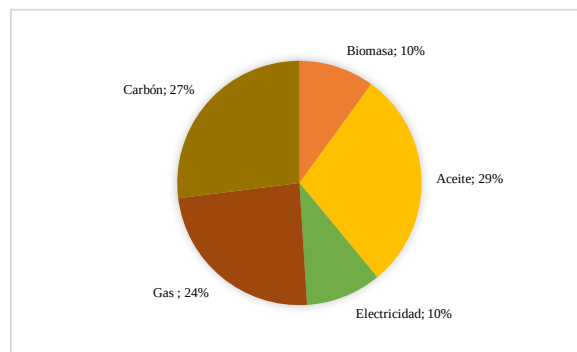
El crecimiento de consumo energético global tuvo un repunte del 5% en 2021 tras haber sufrido una reducción del 4,5% en 2020 en el marco de la pandemia mundial. Esta recuperación se sitúa 3 puntos por encima del 2% anual de media durante el periodo 2000-2019. El consumo energético aumentó en la mayoría de los países: 5,2% en China (+2,2% en 2020), 4,7% en la India (-5,6% en 2020), 4,7% en Estados Unidos (-8,6% en 2020), 9% en Rusia (-4% en 2020) y 4,5% en la UE (-6,8% en 2020) [3].

El consumo energético también incrementó en la mayoría de las regiones: 9% en la CEI, 5% en América Latina y 7% en África, salvo los casos de Oriente Medio (-0,4%) y el Pacífico (-2, %) [3].

De acuerdo con las cifras reportadas por Enerdata el consumo total de energía en el mundo para el año 2021 fue de 14646 Mtoe, de las cuales Europa reportó un consumo de 995 Mtoe, Asia 4629 Mtoe, África 1102 Mtoe y América 3621 Mtoe de las cuales Norte América reportó un consumo de 2742 Mtoe y Latinoamérica de 879 Mtoe [3].

Como se observa en la Figura 1, el 100% de energía en 2021 fue producida a partir de biomasa (10%), aceite (29%), electricidad (10%), gas (24%) y carbón (27%).

Figura 1. Porcentaje de energía producida en el mundo por sector para el año 2021



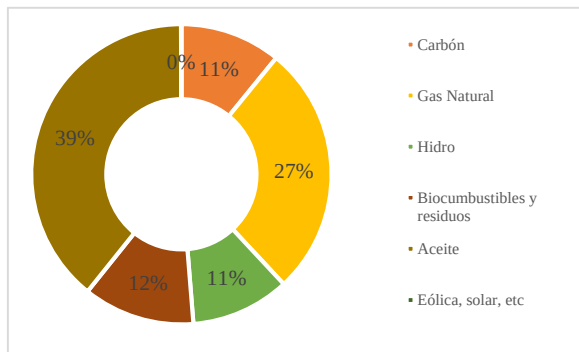
Nota: fuente elaboración propia a partir de Enerdata.

El aumento de las emisiones de CO₂, impulsado por la recuperación económica mundial, condujo a una aceleración del crecimiento en comparación con la tendencia histórica (+1,9%/año durante 2000-2019). Las emisiones mundiales de CO₂ repuntaron un 5,4% y alcanzaron su nivel récord (33 GtCO₂). Entre los principales emisores, Australia es el único país donde las emisiones de CO₂ siguieron una tendencia a la baja (-3,6%), principalmente debido a una contracción del 4,3% en el sector eléctrico (disminución de la participación de las centrales eléctricas de carbón y gas en la producción en beneficio solar y eólica).

El crecimiento de las emisiones de CO₂ en Japón se mantuvo controlado (+0,8%). Se pudo observar un aumento de las emisiones en Brasil (+14%, mayor uso de centrales eléctricas de gas, aumento del consumo en el sector del transporte basado principalmente en el petróleo); en Rusia (+9,5%, demanda récord de gas, especialmente en la energía y la industria sectores); y en menor medida en EE.UU. (+6,2%). Solo en Rusia, el aumento (+156 MtCO₂) es casi tan alto como el aumento dentro de toda la UE, donde Alemania, Francia, Italia, los Países Bajos contribuyeron con más del 70% del crecimiento de las emisiones de CO₂. Las emisiones de CO₂ de China alcanzaron su máximo histórico (+6,3%, 10,4 GtCO₂) debido al aumento vertiginoso de la demanda de energía en 2021 (+10%), sumado al deterioro de las emisiones de CO₂ factor en la producción de energía (puesta en marcha de alrededor de 7 GW de centrales eléctricas de carbón en 2021) [3].

A nivel nacional, para el año 2019 según los indicadores IEA; Colombia tuvo una generación promedio energético de 1843113 TJ de energía de las cuales 200528 TJ fueron producidas a partir de carbón, 500934 TJ de gas natural, 196537 TJ de hidráulica, 221728 TJ de biocombustibles y residuos, 722665 TJ de aceite o petróleo y 721 TJ proveniente de producción eólica, solar, etc. [4].

Gráfica 2. Porcentaje de energía producida en Colombia por sector para el año 2019



Nota: fuente elaboración propia a partir de IEA, 2019.

Del total de energía producida en Colombia para el año 2019 según IEA se reportó una generación de emisiones de CO₂ equivalentes a 74,88 Mt, sin embargo, de acuerdo al reporte mundial debido a la pandemia declarada por Covid – 19 y a la reactivación económica, esta generación de emisiones incremento 5,4% en el mundo [4].

Existe evidencia sólida y científica donde se expone que la implementación de las tecnologías usadas en el uso de energías renovables, tiene un efecto directo en la disminución de los gases de efecto invernadero. Por otra parte, las energías renovables ofrecen una serie de beneficios adicionales, como la seguridad energética y el aumento de la calidad del aire en las ciudades y el crecimiento socioeconómico enfocado hacia la generación de nuevos empleos.

Debido a la disponibilidad de diferentes formas de energía renovable, los países no están obligados a centrarse en un tipo particular de energías renovables. Además, de acuerdo a la naturaleza dócil de las tecnologías de energía renovable, se pueden implementar para aplicaciones fuera de la red y dentro de la red (desde unos pocos kilovatios hasta gigavatios) y, por lo tanto, pueden servir como una buena alternativa para proporcionar acceso a la electricidad en áreas remotas [5].

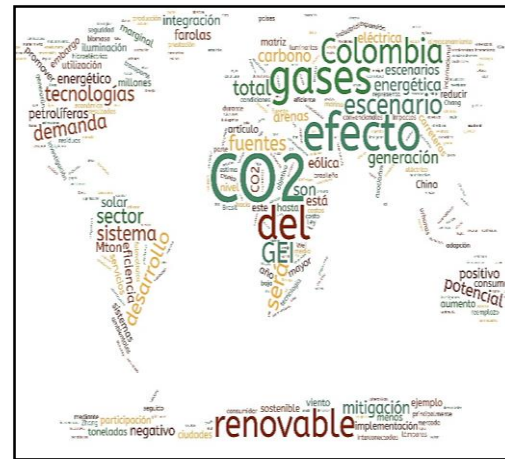
II. Materiales y Métodos

Materials

La literatura existente en el área provee una gran variedad de investigaciones sobre energías renovables y su incidencia en el efecto invernadero.

Por último, con el objetivo de presentar a modo de resumen, los conceptos más relevantes expuestos anteriormente identificados en la revisión bibliográfica, se realiza una nube de palabras destacando los conceptos fundamentales del presente artículo de revisión a nivel local, nacional e internacional [6].

Imagen 1. Conceptos relevantes



Nota: fuente elaboración propia.

Métodos

Para el desarrollo del presente artículo, se parte del análisis y recopilación de información relacionada con las energías alternativas a nivel nacional e internacional, a través de la búsqueda, organización y sistematización de información proveniente de recursos electrónicos provistos en la biblioteca virtual de la Universidad Antonio Nariño a partir del año 2017 hasta la fecha.

Por ello se accedió a búsqueda en revistas electrónicas como Science Direct y en el buscador principal de la biblioteca virtual, partiendo de criterios de búsqueda que incluyeron las siguientes palabras: “energías alternativas”, “gases efecto invernadero”, “alternative energies” y “greenhouse effect gases”. A partir de estos, se realizó un filtro aplicado a nivel internacional y nacional acerca de la implementación de energías alternativas en Colombia y el mundo pre seleccionando un total de 55 artículos.

Se utilizó la cadena de búsqueda ("importancia AND energías renovables" AND "sostenibilidad" OR "fuentes de energía renovable").

Los criterios de inclusión y exclusión fueron de vital importancia para el desarrollo de la clasificación de información, considerando criterios de inclusión tales como: el artículo proviene de fuentes confiables, artículos escritos desde el año 2017 en adelante, los artículos se encuentran en idioma inglés o español y criterios de exclusión como: el artículo se encuentra en otro idioma diferente a inglés o español, no proviene de fuentes confiables o se publicó antes de la fecha propuesta.

Posteriormente, se elaboró una base de datos en Excel con las siguientes categorías: Enlace, título, año, autores, resumen y revista. Una vez descritos se

organizó la información y seleccionó aquellos que proporcionaban mayores soportes teóricos y técnicos acerca de la disminución en la generación de gases efecto invernadero con la inclusión de energías alternativas.

A continuación, se procedió a realizar el análisis e identificación de los aspectos comunes y diferenciales de cada pliego, lo cual permitió crear el desarrollo del presente documento obteniendo la generación de conclusiones.

III. RESULTADOS

A nivel internacional Liobikienė y Butkus [6], identificaron que el sector de servicios y la eficiencia energética, el sector de servicios y las energías renovables actuaron como fuerzas sustitutivas que redujeron las emisiones de gases de efecto invernadero con una tasa marginal de sustitución decreciente.

Los efectos estimados de las variables sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y su significación estadística son consistentes en todas las estimaciones. En igualdad de condiciones, se estima que el incremento de la eficiencia energética del 1% reducirá los GEI entre un 0,20% y un 0,29%. El proceso de inclusión de las energías renovables en el consumo de energía también se correlaciona negativamente con la emisión de gases de efecto invernadero: se estima que un aumento del 1% en las energías renovables reduce los gases de efecto invernadero en un 0,09-0,12%. [6]

Por otra parte, los investigadores Janzen y Davis [7]”, propusieron evaluar el potencial de reducción de gases de efecto invernadero y los costos asociados de la integración de tecnologías basadas en el uso de la energía renovable en las arenas petrolíferas de Canadá. Investigaron un total de 27 escenarios a largo plazo en la extracción, mejoramiento y generación de electricidad de arenas petrolíferas.

Los resultados muestran que hasta 84 millones de toneladas de reducción de emisiones de GEI (2,3% de las emisiones de gases de efecto invernadero de las arenas petrolíferas) a un costo marginal de reducción de gases de \$1,3/tCO₂ está disponible con un incentivo de carbono de \$ 30/ tonelada. Los escenarios sin incentivos de carbono dieron como resultado 69 millones de toneladas menos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y un aumento marginal del costo de reducción de gases de \$36/tCO₂ [7].

En el artículo de Chang, Wei y Zhang [8], donde analizan la adopción de luminarias de iluminación de bajo consumo y el uso de energía renovable como potenciales mitigadores de los Gases de Efecto Invernadero en la iluminación de las carreteras urbanas,

se demuestra una contribución al desarrollo de un entorno urbano con bajas emisiones de carbono. Igualmente, en este estudio, utilizaron un enfoque ascendente para estimar el potencial de mitigación de los GEI asociado con el reemplazo de las lámparas de sodio de alta presión (HPS) actuales por lámparas de diodos emisores de luz (LED) y la implementación de farolas híbridas de viento solar, farolas solares, y farolas de viento en China [8].

Los resultados obtenidos por Chang, Wei y Zhang, mostraron que las emisiones incrementales de GEI asociadas con un conjunto de farolas que utilizan tecnologías de energía renovable oscilan entre 475 y 1631 kg CO₂ e, lo que arroja un tiempo de amortización de GEI de 1,7 a 7,7 años, lo que es rentable desde el punto de vista medioambiental. El reemplazo de la lámpara LED-HPS y la utilización de energía renovable pueden reducir anualmente las emisiones de GEI en 21,2 millones de toneladas (Mt) de CO₂, que está dominado por las carreteras secundarias (38%) y troncales (31%) [8].

El este de China, especialmente las provincias de Jiangsu y Shandong, tiene los mayores potenciales de mitigación de GEI. Dalian, Shanghai y Tianjin se encuentran entre las principales ciudades con el mayor potencial de mitigación de GEI. Para ciudades con diferentes niveles administrativos, las ciudades a nivel de prefectura pueden alcanzar un potencial de mitigación de GEI del 56%, aproximadamente 11,9 Mt CO₂e por año [8].

Lima, Méndez, Mothé y Linhares revisan en su investigación la expansión en el uso de fuentes de energía renovable dada la vulnerabilidad futura de la matriz eléctrica brasileña. El uso de energías renovables como la eólica, solar y la cogeneración para la producción eléctrica ha crecido considerablemente en Brasil. El uso de nuevas fuentes de energía renovable y el mantenimiento de inversiones en energía hidroeléctrica son parte de la estrategia brasileña para hacer que su matriz eléctrica sea menos vulnerable a las consecuencias del cambio climático [9].

Por último, según la revisión bibliográfica realizada en la investigación citada se pronostica que la energía solar fotovoltaica con soporte de baterías será la tecnología de generación dominante, cubriendo el 77% de la demanda total a nivel internacional [10].

Por ejemplo, un sistema de energía 100% basado en energías renovables como en Irán, que combina energía solar fotovoltaica complementada con energía eólica y algo de energía hidroeléctrica, este se convierte en la columna vertebral del sistema, mientras que las tecnologías de almacenamiento desempeñan un papel crucial a la hora de proporcionar un sistema de energía resistente y confiable [10].

Ahora bien, Colombia representa ese grupo de países en desarrollo que enfrenta nuevos desafíos en la demanda energética debido a los fenómenos climáticos, los cambios tecnológicos y el uso creciente de energías renovables [11].

Perteneciente al continente americano y ubicado en Sudamérica en el eje ecuatorial, Colombia ha comenzado a integrarse activamente en el campo de la sustentabilidad energética y ha penetrado en la matriz de energías renovables, permitiendo su compromiso de reducir la dependencia económica de los fósiles, combustibles y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Asimismo, Colombia está incrementando sus alternativas hacia la eficiencia económica, ecológica y social siguiendo el ejemplo de la implementación de este tipo de tecnologías en los países desarrollados [12].

Para el 2030, la demanda total de energía de Colombia en el escenario positivo será de 1.597.675 TJ; mientras que para el escenario negativo será de 1.748.469 TJ. Mientras que para el 2050, la demanda total de energía de Colombia en el escenario positivo será de 2.125.453 TJ; mientras que para el escenario negativo será de 2.498.765 TJ. En ambos escenarios, el mayor consumidor de energía es el sector del transporte, seguido del sector industrial [11].

Al 2030, la generación total de emisiones de CO₂ para Colombia en el escenario positivo será de 108,3 Mton; mientras que en el escenario negativo se generarán 118,5 Mton. Para el 2050, la generación total de emisiones de CO₂ para Colombia en el escenario positivo será de 140,1 Mton; mientras que en el escenario negativo se generarán 150,5 Mton. [11].

Sin embargo, recientes estudios han demostrado que se puede lograr una reducción del 7% al 41% de las emisiones de carbono con la implementación de energías renovables [13].

Colombia tiene el privilegio de contar con varios tipos de recursos naturales como son el viento, el sol y el agua, pero no existe un contexto legal claro para regular la explotación sostenible y segura de la energía eólica marina considerada no convencional. El desarrollo de la tecnología eólica marina en Colombia podría atender la demanda de energía cuando el sistema hidroeléctrico presenta baja generación eléctrica durante condiciones hidrológicas secas y eventos como El Niño u oscilaciones del sur [14].

La única ley hasta el año 2014 que promovía las energías renovables en el país colombiano es la Ley 1715 de 2014, que tiene como objetivo promover el desarrollo y uso de fuentes de energía no convencionales, principalmente las de base renovable, en el sistema energético nacional por medio de su integración en el mercado eléctrico, su participación en

áreas no interconectadas, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del suministro energético [12].

Sin embargo, en 2021 se aprobó la Ley 2099, que busca fomentar el desarrollo y el uso de fuentes de energía no convencionales. Este proyecto se enfoca en la creación de sistemas de almacenamiento y uso eficiente de energía, principalmente de fuentes renovables. Estos sistemas se integrarán al mercado eléctrico, participarán en las zonas no interconectadas y brindarán servicios de prueba y evaluación de la eficiencia energética. Los mismos objetivos buscan fomentar la gestión de energía eficiente [15].

Así mismo, en Colombia, la producción agrícola, ganadera y la agroindustria de procesamiento (incluidos los mataderos) son una fuente importante de desechos de biomasa, que a menudo generan importantes impactos ambientales. Las tecnologías de conversión de residuos en energía, en particular los sistemas de combustión directa y digestión anaeróbica, son una alternativa para revalorizar estos residuos como fuentes de energía y reducir sus impactos ambientales. La biomasa representa la principal fuente renovable en Colombia y puede soportar de manera sostenible hasta un 15-28% de la combinación de energía de uso final. Sin embargo, con menos del 1% de la capacidad energética registrada en proyectos renovables, hay pocos avances hacia la expansión de la explotación de energía basada en biomasa [16].

En el desarrollo de la investigación se encontraron criterios significativos sobre la contribución de las energías renovables a la disminución de los gases efecto invernadero como son:

La eficiencia energética: esencial para reducir la vulnerabilidad de los sistemas energéticos, lo que a su vez mejora el bienestar social, económico y ambiental. Esta es considerada como una de las estrategias pioneras en la disminución de las emisiones de dióxido de carbono y que promueve la seguridad energética a través de energías limpias y sostenibles [17].

Sostenibilidad: consiste en establecer un balance entre el desarrollo económico, salud pública y el cuidado y conservación del medio ambiente. Mantener una calidad del aire adecuada es fundamental para la salud y el bienestar general de las personas. La contaminación atmosférica está vinculada a diversos problemas de salud pública y también impacta negativamente en los ecosistemas, la biodiversidad y el clima. Siendo crucial para asegurar un entorno saludable y habitable para todos. Para lograr esto, es vital la cooperación entre gobiernos, industrias y comunidades, a fin de efectuar estrategias eficaces que fomenten un futuro más limpio y sostenible [18].

Reducción de contaminantes: es un factor fundamental que permite garantizar la calidad del aire, todo ello ya que las emisiones de los diferentes contaminantes que se encuentran en la atmósfera, como el dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM) y compuestos orgánicos volátiles (COV), afectan de manera significativa esta calidad. Estos contaminantes pueden provocar problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares y otros efectos negativos en la salud. Así mismo, contribuyen al efecto invernadero y a la pérdida de los ecosistemas. Por ello, es esencial sustituir los combustibles fósiles por fuentes de energía limpias, como la solar, eólica y geotérmica, para reducir las emisiones de gases contaminantes [19].

Salud pública: La exposición a contaminantes atmosféricos, como el material particulado (PM), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el ozono (O_3), puede empeorar condiciones respiratorias preexistentes, como el asma y la bronquitis. Además, puede favorecer la aparición de nuevas enfermedades respiratorias, impactando de manera directa en la salud pública y afectando a millones de personas a nivel global. Por ello, es crucial implementar políticas efectivas y fomentar un entorno más limpio para salvaguardar la salud de la población y mejorar la calidad de vida [20].

Innovación tecnológica: crucial para generar mejoras en la calidad del aire y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Al implementar y fomentar estas tecnologías, se proyecta un futuro más sostenible y saludable, favoreciendo tanto al entorno como a la salud pública. La cooperación entre gobiernos, empresas y comunidades es esencial para promover estas innovaciones y optimizar su efecto positivo [21].

Crecimiento económico: el desarrollo económico influye de manera significativa en el aire y en la reducción de gases de efecto invernadero, ya que mientras las economías continúan en crecimiento, muchas naciones comienzan a adoptar políticas más rigurosas para proteger el medio ambiente. La transición hacia energías renovables también se ve facilitada, pues una economía más sólida permite mayores inversiones en tecnologías limpias. Esto significa que hay más recursos disponibles para investigar y desarrollar alternativas energéticas que disminuyan el uso constante de los combustibles fósiles [22].

IV. DISCUSIÓN

El camino hacia un futuro sostenible debe incluir un refuerzo en el ahorro energético, que permita la incorporación de tecnologías con emisiones bajas de CO_2 , resaltando la importancia en los escenarios globales de las energías renovables con el objetivo de minimizar los impactos ambientales negativos producidos. Aunque algunos escenarios pueden incidir

más que otros y se generan incertidumbres respecto al potencial tecnológico de la sostenibilidad, la perspectiva es satisfactoria frente a la eficiencia y efectividad de las medidas de mitigación del cambio climático [23].

Las principales fuentes de energía renovable, tales como: energía solar, eólica, hidráulica, biomasa y biogás, son fundamentales para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el uso de este tipo de energía renovable, garantiza la protección al medio ambiente, la calidad energética y la no producción de contaminantes atmosféricos [24].

El uso de recursos naturales de tipo renovable para el propósito de producción energética, se ha convertido en la llamada: energía del futuro, caracterizándose por la seguridad hacia los seres humanos y el cuidado hacia el medio ambiente, son de fácil acceso y gratuitos por lo que se pueden encontrar en cualquier parte y permiten garantizar la independencia energética [24].

El acceso a fuentes de energía más limpias como la energía solar, considerada como el combustible de los sistemas energéticos y meteorológicos, puede ser suficiente para satisfacer las necesidades energéticas en su totalidad durante un tiempo prolongado. Sin embargo, presenta como principal desventaja la variabilidad de luz solar en diversas épocas del año [25].

Con la transición hacia el uso e implementación de las energías renovables y sostenibles, la energía eólica se caracteriza por ser una fuente crucial de producción de energía eléctrica, siendo producida por el viento y desarrollada gracias al impacto de las corrientes de aire. Se caracteriza por poseer un suministro de energía inagotable, convirtiéndose en un recurso ilimitado y abundante. Además, es asequible en una amplia gama de lugares en todo el mundo, teniendo como principal desventaja su no almacenamiento y el hecho que debe utilizarse de forma inmediata después de la producción, por lo que, no puede reemplazar por completo el uso de otras fuentes de energía [26].

Debido a la producción de residuos, se ocasiona el consumo de productos que, mediante la implementación del reciclaje, pueden convertirse en fuentes de energías alternativas, como el uso de la biomasa y su capacidad de transformación. Se fomenta la producción de energía mediante la incineración de materia orgánica y se reduce el uso de combustibles perjudiciales para el planeta tierra [27].

Apoyados en estas fuentes de energía se puede llegar a tener un medio ambiente sostenible, promoviendo así la creación de una sociedad que salvaguarde la vida humana a largo plazo. Por ello, es que las fuentes de energía renovables son fundamentales para las estrategias de desarrollo, pues logrando su incorporación se convierten en una buena opción para satisfacer la demanda en lugares remotos y también para las comunidades que se encuentran lejos de los

centros poblados. El uso de energías renovables también aumenta la seguridad energética de un país, al diversificar sus fuentes energéticas y evitar un aumento en la adquisición de combustibles del exterior [27].

Las fuentes de energía renovables, se han convertido en estrategias fundamentales para minimizar la contaminación del aire y obtener la reducción de los gases de efecto invernadero. Al reemplazar los combustibles fósiles, estas energías ayudan de manera significativa a reducir las emisiones de CO₂ y otros contaminantes, lo que a su vez mejora la calidad del aire y favorece un entorno más saludable. La transición hacia un modelo energético que utilice fuentes renovables es esencial no solo para enfrentar el cambio climático, sino también para aportar beneficios directos a la salud pública y a la calidad de vida de las comunidades [28].

No obstante, la adopción de energías renovables presenta desafíos, como la necesidad de una infraestructura adecuada y la variabilidad en la generación de energía. Es esencial visualizar cómo dirigir el presupuesto para poder invertir en tecnologías de almacenamiento y poder integrar eficientemente estas fuentes de energía en la actualidad. Esto no solo contribuye a mitigar los impactos ambientales, sino que también garantiza un suministro energético confiable y sostenible [29].

La inclusión de energías sostenibles o energías renovables enfrenta varios desafíos en la actualidad, que pueden afectar su efectividad en cuanto a calidad de aire se refiere. Uno de los principales inconvenientes que se presenta es la necesidad de una infraestructura adecuada para integrar fuentes intermitentes, como la solar y la eólica, en las redes eléctricas que se conocen hoy día, ya que en algunos casos el problema no solo se encuentra en la integración de las mismas, sino el estado en que se encuentran. Sin contar el hecho de que desde el principio no fueron diseñadas para manejar la variabilidad en la producción de energía, lo que puede generar inestabilidad en el suministro. Además, de los costos iniciales asociados con la implementación de tecnologías sostenibles y la inversión en sistemas de almacenamiento, también representan un reto significativo para las empresas prestadoras del servicio y la interacción-aceptación por parte del usuario, especialmente en regiones con recursos limitados [30].

A pesar de los diferentes desafíos que representa el generar la transición hacia energías sostenibles, se recalcan los impactos ambientales positivos que conllevan, ya sea en la reducción de gases de efecto invernadero, cuidado y protección de ecosistemas, mejoría en la calidad del aire y disminución de enfermedades respiratorias, ya que al ser sustituido el uso de los combustibles fósiles, las energías renovables permiten lograr la disminución en las emisiones de CO₂ y otros contaminantes que contribuyen deterioro del planeta, mitigando no solo el cambio climático, sino que

propicia la disminución de enfermedades asociadas a la contaminación del aire [31].

V. Conclusiones

Las energías renovables generan un efecto reductor de emisiones de gases efecto invernadero de aproximadamente el 56%. Teniendo en cuenta que en Colombia el mayor consumidor de energía es el sector transporte, seguido del sector industrial, implementar alternativas de generación eléctrica de tipo renovable traerá consigo grandes beneficios que contribuyan a disminuir la generación de gases efecto invernadero.

Por otra parte, Colombia poco a poco va ajustando los procesos normativos y la reglamentación necesaria para llevar a cabo unos procesos de transición energética seguros de manera que se garantice la disponibilidad del acceso al servicio de energía al 100% de la población, llegando a lugares remotos en los que aún se dificulta acceder con facilidad al servicio de energía.

Además, se generan oportunidades para continuar investigando y fomentando la creación de prototipos para ser implementados en la industria de producción energética a partir de energías renovables y así generar una alternativa que contribuya a los procesos de adaptación y mitigación del cambio climático.

VI. Referencias

- [1] E. Perino, R. Kiesling, A. Silnik, A. Perelló, "Energías renovables y sustentabilidad: una eficiente forma de gestionar los recursos naturales, Revista Digital Universitaria, vol. 22, n° 3, 2021. <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2021.22.3.4>
- [2] Banco Mundial, "Energía", 2020. [En línea]. Disponible en <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview> (accessed Sep. 19, 2022).
- [3] Enerdata, "Estadísticas de consumo energético mundial", 2021. [En línea]. Disponible en <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html> (accessed Sep. 19, 2022).
- [4] "International Energy Agency". 2020. [En línea]. Disponible en <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-end-uses-and-efficiency-indicators-data-explorer>
- [5] I. T. Tambari, M. O. Dioha, y P. Failler, "Renewable energy scenarios for sustainable electricity supply in Nigeria", Energy Clim. Chang., vol. 1, p. 100017, 2020. doi: 10.1016/j.egycc.2020.100017.

- [6] G. Liobikienė and M. Butkus, "Determinants of greenhouse gas emissions: A new multiplicative approach analysing the impact of energy efficiency, renewable energy, and sector mix", *Journal of Clean. Prod.*, vol. 309, p. 127233, 2021. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.127233.
- [7] R. Janzen, M. Davis, y A. Kumar, "Greenhouse gas emission abatement potential and associated costs of integrating renewable and low carbon energy technologies into the Canadian oil sands", *Journal of Clean. Prod.*, vol. 272, p. 122820, 2020. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.122820.
- [8] Y. Chang, Y. Wei, J. Zhang, X. Xu, L. Zhang, y Y. Zhao, "Mitigating the greenhouse gas emissions from urban roadway lighting in China via energy-efficient luminaire adoption and renewable energy utilization", *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 164, p. 105197, 2021. doi: 10.1016/J.RESCONREC.2020.105197.
- [9] M. A. Lima et al., "Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil", *Environ. Dev.*, vol. 33, p. 100504, 2020. doi: 10.1016/J.ENVDEV.2020.100504.
- [10] N. Ghorbani, A. Aghahosseini, y C. Breyer, "Assessment of a cost-optimal power system fully based on renewable energy for Iran by 2050 – Achieving zero greenhouse gas emissions and overcoming the water crisis", *Renew. Energy*, vol. 146, pp. 125–148, 2020. doi: 10.1016/J.RENENE.2019.06.079.
- [11] J. A. Nieves, A. J. Aristizábal, I. Dyner, O. Báez, y D. H. Ospina, "Energy demand and greenhouse gas emissions analysis in Colombia: A LEAP model application", *Energy*, vol. 169, pp. 380–397, 2019. doi: 10.1016/J.ENERGY.2018.12.051.
- [12] D. Rodríguez-Urrego y L. Rodríguez-Urrego, "Photovoltaic energy in Colombia: Current status, inventory, policies and future prospects", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 92, pp. 160–170, 2018. doi: 10.1016/J.RSER.2018.04.065.
- [13] A. Mostafaeipour, A. Bidokhti, M. B. Fakhrazad, A. Sadegheih, and Y. Zare Mehrjerdi, "A new model for the use of renewable electricity to reduce carbon dioxide emissions", *Energy*, vol. 238, p. 121602, 2022. doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.121602.
- [14] J. G. Rueda-Bayona, A. Guzmán, J. J. C. Eras, R. Silva-Casarín, E. Bastidas-Arteaga, y J. Horrillo-Caraballo, "Renewables energies in Colombia and the opportunity for the offshore wind technology", *Journal of Clean. Prod.*, vol. 220, pp. 529–543, 2019, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.02.174.
- [15] Ley 2099 de 2021 - Gestor Normativo - Función Pública. 2021. Congreso de Colombia. [En línea]. Disponible en <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326> (accessed Oct. 01, 2022).
- [16] A. Sagastume Gutiérrez, J. J. Cabello Eras, L. Hens, and C. Vandecasteele, "The energy potential of agriculture, agroindustrial, livestock, and slaughterhouse biomass wastes through direct combustion and anaerobic digestion. The case of Colombia", *Journal of Clean. Prod.*, vol. 269, p. 122317, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.122317.
- [17] F. López, *Eficiencia energética: clave para un desarrollo sostenible*, 2023.
- [18] M. Aguilar, D. Aguirre y L. Gaona, "Gobernanza del aire: estrategia para el mejoramiento de la calidad del aire en ciudades", *Revista Gestión y Ambiente*, vol. 24 n° 3, 2021.
- [19] M. Romero, F. Olite y M. Álvarez, "La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud", *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 44, n° 2, 2017.
- [20] E. Velasco, A. Retama, "La contaminación del aire: un problema de salud pública", *Universitarios Potosinos*, pp. 12-17, 2019.
- [21] M. Gavito, et al., "Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México", *Rev. Mex. Biodiv.* vol. 88, 2017.
- [22] C. Torres, *Análisis de los efectos del Crecimiento Económico sobre la Calidad Ambiental. Evidencia empírica para el caso de Colombia de 1970 – 2012*, [Tesis de grado], Universidad del Norte, Barranquilla, 2019.
- [23] X. Labandeira, P. Linares y K. Würzburg, "Energías renovables y cambio climático", *Cuaderno Económicos de ICE*, VOL. 83, pp. 37-60, 2012.
- [24] W. Palacios, A. Caicedo y N. Calixto, *Energías Renovables. El camino hacia la sostenibilidad energética*, Santander, 2023.
- [25] G. Sanmartí y C. Romeva, (2022). *Transición energética y la sostenibilidad de las grandes ciudades*, *CienciAmérica*, vol. 11, n° 2, pp. 11-30, 2022. <https://doi.org/10.33210/ca.v11i2.392>.
- [26] L. Amezquita y J. Cepeda, "Energía eólica, una alternativa ambientalmente sostenible desde el Ejército

Nacional de Colombia", Revista Brújula, vol. 9, n° 17, pp. 48-66, 2021.

[27] J. Quintero y L. Quintero, "Perspectivas del potencial energético de la biomasa en el marco global y latinoamericano", Revista Gestión y Ambiente, vol. 18, n° 1, pp. 179-188, 2015.

[28] Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación, Cambio climático 2021: La base científica física, Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge University, 2021. ISBN 978-92-9169-358-0

[29] I. Mercadal, "Desafíos regulatorios en la incorporación de energías renovables", Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, Research Department working papers, 2023.

[30] E. Pica, E. Sauma, "Los desafíos de la utilización de energías renovables no convencionales intermitentes", Revista Temas de la Agenda Pública, vol. 10, n° 81, 2015.

[31] D. Urbano, G. Beltrán y A. Roldan, Energías renovables en Colombia: viabilidad, desarrollo y potencial de implementación para la diversificación de la matriz energética del país, [Tesis de grado], Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2023.